



TITLE:

Evaluation of soundness and seismic behavior of long-term-use irrigation dams(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hayashida, Yoichi

CITATION:

Hayashida, Yoichi. Evaluation of soundness and seismic behavior of long-term-use irrigation dams. 京都大学, 2018, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r13183>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2019-03-25に公開; 許諾条件により本文は2019-02-05に公開

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	林田洋一
論文題目	Evaluation of soundness and seismic behavior of long-term-use irrigation dams (長期供用農業用ダムの健全性および地震時挙動評価)		
(論文内容の要旨)			
<p>我が国における貯水ダムの多くは供用開始から長期間が経過し、1900年以降に築造されたダムのうち、築造後50年以上経過したものは2020年に58%を超える。一方、1995年兵庫県南部地震以降、2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震など大規模な地震が頻発し、既設ダムも被災の例外ではない。こうした背景のもと、長期供用ダムの健全性と安全性を適切に管理することは重要な課題となり、ダムの健全性評価および大規模地震に対する安全性評価が行われている。特にフィルダムの耐震設計では、主として斜面の安定性に対する検討が実施されるが、地震時に生じる他の損傷形態についてはメカニズムについて不明な点が多く、その解明が求められている。</p> <p>本論文では、ダムの健全性を評価するための新たな計測システムを開発・改良し、実ダムにおける長期検証試験を行い、その有効性を示した。さらに、地震時にフィルダムで発生する堤体損傷メカニズムを明らかにするとともに、それらがダムに及ぼす影響を低減するための対策方法を提案した。本論文は7章で構成される。第1章では問題背景や研究目的を述べた。第2章では地震時におけるダムの損傷事例をレビューし、その特徴を概観した。第3章ではダムの健全性を評価するための新たな計測システムを開発し、その高度化に関する性能検証を行った。第4章ではダム堤体の応答挙動をダム堤体と基盤との相互作用の観点から検証した。第5章ではダム堤体が壊滅的な損傷に至る原因の一つである基礎地盤の液状化について、その破壊メカニズムを明らかにするとともに、被害を軽減するための対策方法を提案した。第6章では堤体の天端付近で発生するクラックによる損傷について、堤体天端での三次元的な挙動に着目し、堤体の形状や入力動の方向がその応答挙動に及ぼす影響を検証した。最後に、第7章で本論文の総括ならびに今後の展望を示した。</p> <p>本論文における主要な研究成果は、ダムの健全性評価における計測システムの開発とその高度化、地震時におけるフィルダムの損傷メカニズムの解明およびその対策方法に関する次の5点に要約される。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 施工性の向上、フィルダムの安全性評価のために実施される間隙水圧計測の安定化を図るために、ケーブルを必要としない新たな計測システム「ワイヤレス間隙水圧計」を開発し、実ダムにおいて長期間の性能検証試験を実施した。検証結果から、ワイヤレス間隙水圧計は従来のケーブル付センサと同等の計測が可能であることを明らかにした。施工の簡便さおよびその計測性能により、提案する新たな計測システムの有効性を示した。2. 長期検証試験に用いたワイヤレス間隙水圧計のテストモデルは、想定した仕様の計測寿命である10年よりもはるかに短い5年半後に動作不能となり、データ通信できない状態となった。その原因を室内電池容量試験および実ダムでの電池電圧データより検証した結果、原因は電池容量の不足ではなく、電池の内部抵抗の増加によるデータ通信時の電圧降下によることを明らかにした。また、電圧降下の影響を緩和するため、電池を並列に設置する改良を行った。改良した			

ワイヤレス間隙水圧計を実際のダムに埋設し検証を行った結果、テストモデルに比べ電池の内部抵抗による電圧降下の影響が大きく緩和され、その長期計測性能が向上することを確認した。

3. 基盤のモデル化領域および材料特性が、堤体の応答挙動に及ぼす影響を数値解析により検証した。検証の結果、堤体での加速度増幅比、フーリエスペクトル比、一次卓越周波数は主に基盤の材料特性に依存し、基盤のモデル化領域はほぼ影響しないことを明らかにした。そのメカニズムは、ダムと基盤の相互作用に基づく変形モードの違いによるものであり、基盤の地震時挙動が堤体の卓越周波数の影響を受けることを明らかにした。これにより、基盤と堤体の卓越周波数が近接しないよう基盤のモデル化領域を設定することが、応答解析において重要であることを示した。
4. 地震時にダム堤体に壊滅的な損傷を引き起こす主要な原因のひとつである基礎地盤の液状化に着目し、堤体の破壊メカニズムを遠心载荷模型実験により検証した。実験結果より、ダム堤体の破壊は液状化地盤—堤体—貯水の相互作用により段階的に進展することが明らかとなった。また、上流斜面の変形が、ダム堤体が壊滅的な破壊に至る主要な要因となることを示した。なお、下流斜面法尻の改良を行う対策により、上流斜面の変形が抑制され、堤体上部では深刻な損傷が生じるものの、越流に至る壊滅的な破壊を防ぐことが可能であることを示した。
5. 堤体の振動挙動に及ぼす堤体形状、加振波の方向の影響を振動模型実験により検証した。試験結果から、加振方向にかかわらず最大加速度が観測される地点は、谷の最深部直上であることが明らかとなった。また、堤体の形状や加振波の方向および周波数により、加振方向と直交する方向への応答が生じることを明らかにした。特に、加振方向がダム軸方向の場合、アバット部の拘束によりダム堤体は複雑な三次元的挙動を示し、天端上で応答が生じない地点が生じ、堤体が波打つ挙動を示すことを明らかにした。また、このことが地震時の堤頂部の破壊原因の一つであることを示した。このことから、地震計により観測された記録を分析し、ダムの損傷原因を調査する際には、ダム堤体の振動モードと地震波の方向および卓越周波数との関係に留意することが重要であることを示した。

以上の研究成果により、長期供用ダムの健全性および耐震性能照査の高度化の可能性が示され、ダムの保全管理、地震後の堤体損傷要因の分析および安全性評価、耐震化対策の実施に貢献することが期待される。

注)論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、フィルダムの健全性評価の高度化に資するケーブルを必要としない新たな計測システムの提案を行い、長期間にわたる現地実証試験によりその有効性を明らかにした。さらに、実証試験中に明らかとなった計測寿命の問題について、その原因を解明し改良を行うことで、所要の計測寿命を満足することを示した。次いで、地震時にフィルダムで発生する堤体損傷メカニズムを検証し、基礎地盤との相互作用に基づく堤体の応答特性、基礎地盤の液状化に伴う堤体破壊挙動、堤体形状および入力波の特性による堤体天端部の応答挙動を明らかにした。また、堤体が壊滅的に破壊しうる基礎地盤の液状化に対し、堤体の損傷を緩和するための対策方法を提案し、その有効性を示した。評価できる点は以下のとおりである。

1. 従来のセンサには不可欠であったケーブルを用いず、地中での無線通信を可能とした新たな計測システムによりフィルダム堤体の施工性、計測の安定性の向上を図った。そのシステムの有効性を長期間に及ぶ現地検証試験により明らかにし、計測寿命の問題について、その原因がデータ通信時の電圧降下によるものであることを示した。このように有用性の高い計測システムは、貯水構造物における管理保全技術の進展にきわめて有効な手段となる。
2. 堤体の応答特性が、堤体、基盤およびアバットメントとの相互作用に大きく依存することを数値解析および振動模型実験から明らかにした。特に、ダム軸方向への地震動は、アバットメントの拘束の影響による天端上での複雑な三次元的応答を誘起し、天端周辺における損傷の一因となること、一般的に地震計が設置される谷最深部の直上が、地震動の方向および周波数帯によっては、応答が生じない振動の節となりうることを示したことは、地震時のダム損傷要因の検討および地震計測データの分析に大きく寄与する。
3. ダム堤体に壊滅的な破壊を引き起こす基礎地盤の液状化について、堤体の破壊が液状化地盤—堤体—貯水の相互作用により進行的に生じることを明らかにし、比較的簡便な対策方法により破壊の程度を軽減できることを示した。破壊の程度は、地震波の強度や継続時間に大きく依存すると考えられるが、ある程度の損傷は許容するものの二次被害の発生につながる壊滅的な損傷を防ぐことが可能であることを示したことは、今後の耐震対策技術の開発・高度化に著しく貢献することが期待できる。

以上のように、本論文はフィルダムの挙動を長期にわたり計測できるシステムを新たに開発し、精度の高い健全性評価を可能とした。また、地震発生後の堤体損傷要因を分析し、それに基づく耐震性能照査のもとで安全性評価を高度化した。得られた成果は、貯水構造物に関する合理的な施設機能評価を進展させるものであり、施設機能工学、水資源利用工学、ダム工学、並びに貯水構造物の管理保全の実務に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成30年2月19日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)